

ЭПТ 2015



ACED 2015

УДК 621.316.717

6.5. ВЫБОР ВРЕМЕНИ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ НА СЕТЬ ПРИ РЕАКТОРНОМ ПУСКЕ МОЩНЫХ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

THE TIMING OF SWITCHING ON THE NETWORK AT THE REACTOR START POWERFUL ASYNCHRONOUS ELECTRIC DRIVES

Вечеркин Максим Викторович, канд. техн. наук, доцент кафедры автоматизированного электропривода и мехатроники, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Россия, 455000, г. Магнитогорск, ул. Ленина, 38. E-mail: vecherkin@inbox.ru. Тел.: +79642455681.

Сарваров Анвар Сабулханович, д-р. техн. наук, профессор кафедры автоматизированного электропривода и мехатроники, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Россия, 455000, г. Магнитогорск, ул. Ленина, 38. E-mail: anvar@magtu.ru. Тел.: 8 (3519) 22-45-87.

Петрякова Екатерина Сергеевна, студент кафедры автоматизированного электропривода и мехатроники, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Россия, 455000, г. Магнитогорск, ул. Ленина, 38. E-mail: petryakova-ekaterina@mail.ru.

Макарчева Евгения Валентиновна – магистрант кафедры автоматизированного электропривода и мехатроники, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Россия, 455000, г. Магнитогорск, ул. Ленина, 38. E-mail: cojens@mail.ru.

Макаров Александр Валерьевич – аспирант кафедры автоматизированного электропривода и мехатроники, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Россия, 455000, г. Магнитогорск, ул. Ленина, 48. E-mail: makarov@mgn.ru.

Maksim V. Vecherkin, Cand. Sc., Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov, 455000, Lenin street, 38, Magnitogorsk, Russia. E-mail: vecherkin@inbox.ru. Ph.: +79642455681

Anvar S. Sarvarov, Doctor Sc., Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov, 455000, Lenin street, 38, Magnitogorsk, Russia. E-mail: anvar@magtu.ru. Тел.: 8 (3519) 22-45-87.

Ekaterina S. Petrjakova, Student, Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov, 455000, Lenin street, 38, Magnitogorsk, Russia. E-mail: petryakova-ekaterina@mail.ru.

Evgenija V. Makarcheva, Student, Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov, 455000, Lenin street, 38, Magnitogorsk, Russia. E-mail: cojens@mail.ru.

Aleksandr V. Makarov, Graduate Student, Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov, 455000, Lenin street, 38, Magnitogorsk, Russia. E-mail: makarov@mgn.ru.

Аннотация: При реакторном пуске мощных асинхронных электроприводов время переключения на сеть является единственным регулируемым параметром. При больших значениях времени переключения возрастают тепловые потери в двигателе, при малых – возникают значительные по величине ударные электромагнитные моменты. Обоснованный выбор времени переключения требует детального анализа электромагнитных процессов в двигателе. В работе приводятся результаты теоретических исследований позволяющих осуществить выбор времени переключения, при котором минимизируются негативное влияние колебательной составляющей момента и повышенного тепловыделения при пуске.

Abstract: At reactor start powerful asynchronous electric drive switching time on the network is the only adjustable parameter. At large values of the switching time increase the heat losses in the engine, at low occur for a considerable amount in magnitude shock electromagnetic moments. Informed choice of the switching time requires detailed analysis of electromagnetic processes in the engine. The article presents the results of theoretical studies to allow for the timing of switching, which minimizes the negative impact of the oscillatory component of the torque and increased heat dissipation during start.

Ключевые слова: асинхронный электропривод; реакторный пуск; электромагнитный момент; колебательная составляющая; время переключения.

Key words: asynchronous electric drive; reactor start; electromagnetic torque; oscillatory component; switching time.

Одной из актуальных проблем современного нерегулируемого электропривода является применение устройств плавного пуска для нерегулируемых двигателей значительной мощности. Прямой пуск низковольтных двигателей мощностью свыше 100 кВт и высоковольтных мощностью свыше 800 кВт - это признак низкой технической культуры [1]. Для таких двигателей прямой пуск можно квалифицировать как аварийно-опасный режим их работы.

Асинхронный двигатель (АД) развивает в переходных процессах значительные по величине электромагнитные моменты колебательного характера, которые являются причиной возникновения опасных механических напряжений в элементах кинематической цепи, которые нельзя не учитывать при оценке надежности работы системы электропривода. Детальное изучение электромагнитных переходных процессов дает возможность более рационально конструировать системы асинхронных электроприводов [2].

Плавный пуск позволяет реализовать отдельные энергосберегающие мероприятия, так и способствует повышению надежности и ресурса электромеханических систем на основе мощных АД. Несмотря на общемировую тенденцию перехода к регулируемому электроприводу на основе силовых полупроводниковых преобразователей, простейший по реализации реакторный пуск продолжает оставаться актуальным. Это связано с тем, что для высоковольтных АД стоимость преобразователей частоты и устройств плавного пуска продолжает

оставаться высокой. В этих условиях использование реакторного пуска может оказаться экономически наиболее оправданным и обеспечить удовлетворительные результаты по снижению негативного влияния переходных пусковых процессов на техническое состояние и ресурс мощных АД.

Особенно актуальна проблема плавного пуска для мощных электроприводов насосных и воздухоудных станций. Большинство насосных и воздухоудных агрегатов (турбомеханизмов) характеризуются длительным режимом работы, степенной зависимостью нагрузки на валу от скорости, отсутствием реверсов и торможений и значительных перегрузок. Таким образом, процесс пуска большинства турбомеханизмов является единственным значимым для них переходным режимом.

Выбор реактора для конкретных условий применения является задачей, требующей учета характеристик двигателя, нагрузки, допустимого времени пуска [3]. Кроме этого обязательным является так же анализ тепловых процессов, как в самом двигателе, так и в реакторе.

Типичные осциллограммы реакторного пуска мощного высоковольтного асинхронного электропривода (800 кВт, 6 кВ) центробежного вентилятора представлены на рис. 1. В относительных единицах показан характер изменения скорости, электромагнитного момента и действующего значения тока статора АД.

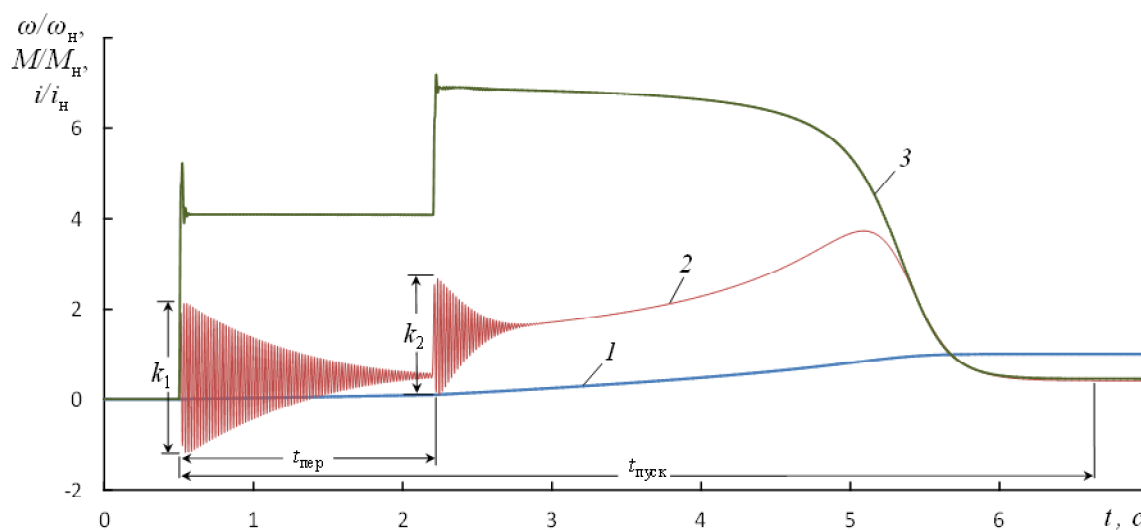


Рис. 1. Расчетные осциллограммы реакторного пуска:

1 – скорость двигателя; 2 – электромагнитный момент; 3 – ток статора двигателя;
 k_1 , k_2 – кратности размаха электромагнитного момента первой и второй ступени;
 $t_{пер}$ – время переключения на сеть; $t_{пуск}$ – время пуска двигателя

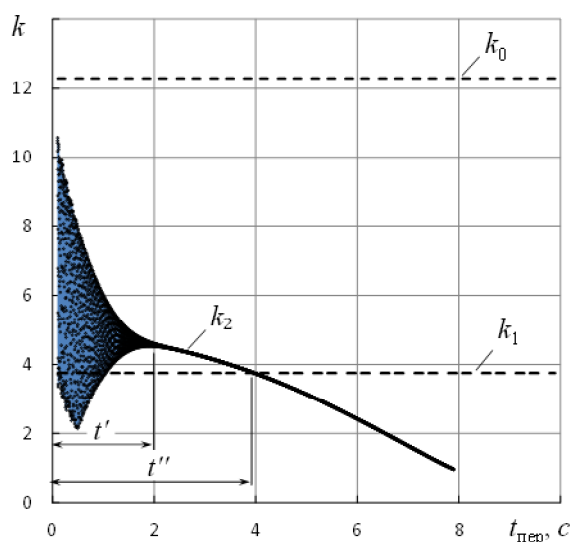
Как известно, реакторный пуск высоковольтных АД является двухступенчатым. Если двигатель пускают при нулевых начальных условиях, то характер переходных процессов на первой ступени пуска полностью определяется параметрами реактора.

На второй ступени начальные условия отличны от нулевых и характер переходных процессов в значительной степени будет определяться временем переключения на сеть. Особенно сильное влияние значение оказывает на электромагнитный момент двигателя. Простейшим наглядным параметром, позволяющим оценить переходный пусковой процесс, является размах начального значения колебательной составляющей электромагнитного момента (и на рис. 1). В зависимости от момента переключения величина может быть как меньше, так и существенно больше [4].

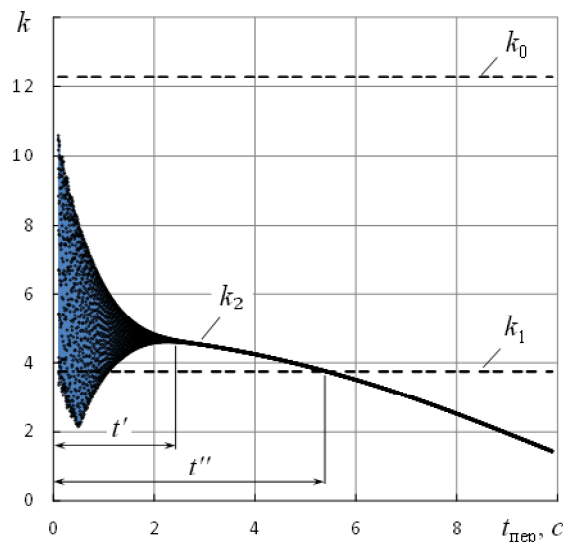
В литературе рекомендуется осуществлять переключение на сеть при достижении двигателем скорости близкой к номинальной. Однако, в этом случае время пуска увеличивается, а тепловые потери, соответственно, возрастают. Для снижения тепловых потерь следует выбирать по возможности малым. Правильный выбор времени переключения является особенно важным, поскольку он является единственным управляемым параметром при реакторном пуске. При этом типичные промышленно-выпускаемые устройства реакторного пуска обеспечивают возможность выбора в широком диапазоне от 0,1 до 99 с.

Для изучения характера изменения параметра была использована компьютерная модель, позволяющая исследовать пусковые процессы [5]. Объектом моделирования являлся двигатель ДАЗО-450У-4У1 используемый в качестве электропривода вентиляторов ВВН-18 и ВВН-20. Рабочие колеса этих вентиляторов имеют значительный момент инерции, 250 и 350 кг·м² соответственно. Исследовался пуск для реактора с $Z = 3,8$ Ом, рассчитанного по условиям нагрева на кратковременную работу. Для данного типа двигателя такой реактор обеспечивает ограничение пускового тока на уровне. Моделирование проводилось для случая строго одновременной коммутации фаз.

Расчет значений проводился от значения с интервалом 1 мс. Была получена серия зависимостей параметра от времени переключения для различных условий пуска. Типичные графики представлены на рис. 2. Пунктиром показаны кратность размаха колебательной составляющей при прямом пуске и кратность размаха колебательной составляющей первой ступени реакторного пуска. В области малых значений параметр подвержен значительным колебаниям с периодом сетевого напряжения, что обусловлено различием в начальных условиях при переключении на сеть. Колебания убывают по мере увеличения и прекращаются при некотором значении близком к длительности колебательной составляющей момента первой ступени пуска. При величина монотонно уменьшается.



а) ВВН-18



б) ВВН-20

Рис. 2. Зависимость кратности размаха колебательной составляющей электромагнитного момента от времени переключения при реакторном пуске электропривода центробежного вентилятора

Как уже отмечалось, для снижения тепловых потерь необходимо минимизировать время переключения. Однако, из приведенных графиков видно, что выбор малых значений $t_{\text{пер}}$ нерационален, поскольку в этом случае параметр k_2 может достигать значительных величин и негативное влияние переходных процессов становится соизмеримым с условиями прямого пуска. При этом быстродействия коммутационной аппаратуры недостаточно для переключения двигателя на сеть в моменты времени, соответствующие минимальным значениям k_2 . Таким образом, при выборе времени переключения можно рекомендовать соблюдение условия

$$t_{\text{пер}} \cong t'. \quad (1)$$

Это обеспечивает прогнозируемое значение k_2 , которое легко определить по графикам рис. 3-4. Если состояние электропривода требует максимального ограничения ударных переходных моментов, то рациональным является соблюдение равенства $k_2 = k_1$, соответствующего условию

$$t_{\text{пер}} = t''. \quad (2)$$

В этом случае негативное влияние колебательной составляющей момента второй ступени пуска не превышает аналогичного влияния первой ступени. В табл. 1 приведены расчетные значения времени пуска при различных условиях переключения на сеть для ВВН-18 при открытой заслонке (рис. 2, б). Представленные данные позволяют оценить время пуска в различных режимах.

Таблица 1.

Условие переключения на сеть	$t_{\text{пуск}}, \text{с}$
$t_{\text{пер}} = 0$ (прямой пуск)	5,0
$t_{\text{пер}} = t'$	6,3
$k_2 = k_1$ ($t_{\text{пер}} = t''$)	7,5
$\omega = \omega_n$	11,7

Рассматривая условия (1) и (2) совместно, можно рекомендовать диапазон допустимых значений времени переключения:

$$t' \leq t_{\text{пер}} \leq t''. \quad (3)$$

Выбор нижней границы диапазона (3) является предпочтительным, поскольку обеспечивает минимальные тепловые потери при удовлетворительной степени снижении размаха ударного электромагнитного момента. Необходимо учитывать факт, что в реальных условиях эксплуатации неодновременность коммутации фаз может увеличивать или

уменьшать размах электромагнитного момента двигателя на 10-30% [2].

Выводы

1. Относительно недорогой реакторный пуск может обеспечить удовлетворительные результаты по снижению негативного влияния пусковых процессов на состояние электромеханических систем, построенных на базе мощных АД.
2. При выборе времени переключения на сеть следует руководствоваться условием (3), обеспечивающим минимизацию негативного влияния колебательной составляющей электромагнитного момента двигателя.
3. Получение более точных значений границ диапазона (3) в каждом конкретном случае требует проведения исследований на компьютерной модели, построенной с учетом всех значимых особенностей эксплуатируемого электропривода.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Онищенко Г.Б., Юньков М.Г. Значение автоматизированного электропривода для модернизации экономики / Труды VII Международной (VII Всероссийской) научно-технической конференции по автоматизированному электроприводу. – Иваново, 2012. с. 4-9.
2. Соколов М.М., Петров Л.П., Масандилов Л.Б., Ладензон В.А. / Электромагнитные переходные процессы в асинхронном электроприводе. М., «Энергия», 1967.
3. Вешеневский С.Н. Характеристики двигателей в электроприводе. Изд. 6-е, исправленное. М., «Энергия», 1977. 432 с.
4. Сарваров А.С., Вечеркин М.В., Макарьева Е.В. Выбор времени переключения при реакторном пуске асинхронных электроприводов с вентиляторной нагрузкой / Электротехнические системы и комплексы: Межвузовский сб. науч. тр. Вып. 21.– Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2013. – С. 100-106.
5. Славгородская Е.В., Славгородский В.Б., Сарваров И.А., Вечеркин М.В. Моделирование пусковых процессов асинхронных двигателей при использовании тиристорных регуляторов напряжения, реакторов, автотрансформаторов и трансформаторно-тиристорных пусковых устройств / Труды VII Международной (VII Всероссийской) научно-технической конференции по автоматизированному электроприводу: ФГБОУ ВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина». – Иваново, 2012. □ С. 350-355.